

패킷 손실시 H.264 SVC의 무기준법 영상 화질 평가 방법

준회원 김 현 태*, 정회원 김 요 한*, 신 지 태*, 원 석 호**

No-Referenced Video-Quality Assessment for H.264 SVC with Packet Loss

Hyuntae Kim* Associate Member,

Yo-Han Kim*, Jitae Shin*, Seok Ho Won** Regular Members

요 약

다양한 네트워크 환경에서 적응적인 서비스 품질을 제공할 수 있는 H.264 SVC 전송에 대한 연구가 활발하다. 본 논문은 H.264 SVC의 무기준법 객관적 화질 평가 방법으로서, H.264 SVC의 계층성을 이용한 품질 평가 지표를 제안한다. 제안하는 지표는 패킷 손실의 위치에 따라 움직임 벡터, 계층적 예측 구조에 의한 에러 전파 패턴, 양자화 파라미터, 영향을 받은 영상프레임 수 등 에러를 반영한 인지적 화질 평가를 예측한다. 제안하는 품질 평가 지표는 사람의 인지적인 영상 품질을 반영한 객관적 지표이며, 이 지표를 주관적 화질평가 결과인 DMOS와의 상관관계를 통해 성능을 검증하였다.

Key Words : H.264 SVC, video quality assessment, no-reference, perceptual video quality

ABSTRACT

The transmission issues for the scalable video coding extension of H.264/AVC (H.264 SVC) video has been widely studied. In this paper, we propose an objective video-quality assessment metric based on no-reference for H.264 SVC using scalability information. The proposed metric estimate the perceptual video-quality reflecting error conditions with the consideration of the motion vectors, error propagation patterns with the hierarchical prediction structure, quantization parameters, and number of frame which damaged by packet loss. The proposed metric reflects the human perceptual quality of video and we evaluate the performance of proposed metric by using correlation relationship between differential mean opinion score (DMOS) as a subjective quality and proposed one.

I. 서 론

다양한 네트워크 환경에서 효율적인 비디오 전송을 위한 Scalable Video Coding (SVC)이 활발히 연구되고 있다. H.264/AVC와 MPEG 1,2,4 등의 비디오 코딩과 달리 SVC는 계층적인 구조를 통해 네트워크 상황에 적응적인 비디오 전송이 가능하다^[1]. 이러한

SVC extension of H.264/AVC (H.264 SVC)에 대한 객관적 품질 평가 방법으로 peak signal-to-noise ratio (PSNR)가 널리 쓰이고 있지만, PSNR은 전체 기준법 (full-reference method)으로 원본 영상의 정보가 필요하다는 단점이 있다. 또한 PSNR은 사람의 인지적인 품질을 반영하지 못하기 때문에 이를 보완하기 위한 SVC에 대한 인지적인 품질을 반영하고 수신된

※ 본 연구는 지식경제부 산업기술이사회 정부출연금사업의 일환으로 수행되었음 [유비쿼터스 인프라 연구, 고품질 방송통신융합 서비스를 위한 Enhanced QoS/QoE 핵심기술 개발]

* 성균관대학교 정보통신공학부 ({hthsog, dos95, jtshin}@skku.edu), (° : 교신저자)

** 한국전자통신연구원 창의연구본부 (shwon@etri.re.kr)

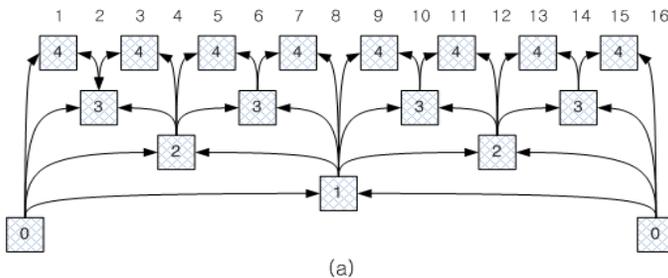
논문번호 : 2011-07-276, 접수일자 : 2011년 7월 1일, 최종논문접수일자 : 2011년 10월 28일

데이터만 가지고 판단하는 무기준법 (no-reference method) 기반한 객관적인 화질 평가 방법의 연구가 필요하다.

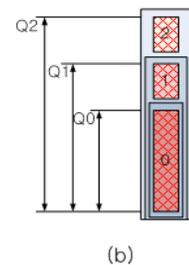
기존 H.264/AVC의 화질 평가 방법과 비교했을 때 SVC의 화질 평가 방법은 계층적인 구조를 반영해야 한다는 차이점이 있다. H.264/AVC에서는 단일 압축 부호화를 갖고 있지만, SVC에서는 공간적, 시간적, 품질적 특성에 대하여 각각 다른 계층으로 이루어져 있다. SVC의 장점은 이러한 세 가지 계층 옵션의 조합으로 같은 전송률의 조건에서도 다른 옵션의 비디오를 부호화할 수 있고, 인코딩된 비디오로부터 계층적으로 서로 다른 옵션으로 복호화가 가능하다는 점 때문에 재부호화 과정 없이 이중적인 네트워크 또는 단말기에 적응적인 복호화가 가능하다는 것이다. 하지만 이러한 SVC 코딩의 특성 때문에 화질 열화를 측정함에 있어 이러한 계층 구조를 고려해야 한다.

SVC의 화질을 평가하기 위하여 본 연구에서는 SVC의 계층적 (Hierarchical) 예측 구조에서의 에러 전파범위를 이용하였다. 시간적 계층의 경우 이러한 계층적 예측 구조의 방향으로 에러가 전파되고, 품질적 계층의 경우에는 각 계층마다 다른 양자화 파라미터를 갖는 구조이기 때문에 부속 계층이 쌓이는 방향으로 에러가 전파된다. 이러한 시간적 계층과 품질적 계층의 에러를 구하기 위해서 두 단계로 계산이 이루어진다. 시간적으로 계층적 예측 구조에서의 에러 전파 범위에 의해 화질 열화를 계산하고, 또한 품질적 계층의 경우에는 각 프레임의 양자화 파라미터 값을 고려하여 화질 열화를 측정하였다. 본 논문의 기여도는 H.264 SVC 압축 동영상에 대해 패킷 손실이 발생하는 환경에서 시각적, 품질적 계층성 (scalability)를 고려한 무기준법 기반의 인지적 품질을 반영한 객관적 화질평가 지표를 제시하는데 있다.

II. 관련 연구



(a) 시간적 계층 구조



(b) 품질적 계층 구조

그림 1. 계층적 예측 구조

2.1 H.264 SVC 구조

본 연구에서 H.264 SVC의 Hierarchical B Frame Prediction 구조는 I 타입 프레임의 간격이 16으로 3 단계의 시간적 계층 (Temporal Layer)으로 구성된 계층구조를 갖는다^[1]. 시간적 계층은 0 (기본 계층)부터 4 (최상위 계층)까지의 계층을 가지며 상위 계층은 하위 계층으로부터 의존성을 갖기 때문에 하위 계층에서의 에러에 의한 에러전파는 상위 계층에 영향을 주게 된다. 계층적 예측 구조는 IPPP..... 구조와 비교하여 압축효율이 좋고, 시간적으로 계층성을 만들어주는 장점이 있다. 본 연구에서 측정한 화질 열화 정도에서 IPPP..... 구조가 아닌 계층적 예측 구조를 고려한 에러 전파 모델을 이용하였다. 품질적 계층의 기본 계층에서부터 최상위 계층까지는 각각 다른 양자화 파라미터 값을 갖게 되고 상위의 계층이 더 낮은 양자화 파라미터 값을 갖는다. 그림 1 은 이러한 시간적 계층과 품질적 계층을 나타내었다.

2.2 H.264 SVC 기반 화질 평가 연구

현재까지 SVC 화질 평가 지표를 제안한 논문으로는 전체 계층성의 각각의 옵션에 따른 화질 평가 방법이 있다. 전체 계층성의 공간적, 시간적, 품질적 계층을 모두 고려하였으며, 해상도의 세로값, 프레임율, PSNR을 이용하여 전체기준법의 객관적 평가 방법을 통해 사람의 인지적인 화질을 반영한 방법이다^[2]. 또한 전체 계층성을 고려한 SVC의 품질 평가 지표에 각각 공간적인 변화정도와 시간적인 움직임의 변화정도를 이용하여 영상 시퀀스 각각의 차이를 적용한 전체기준법의 객관적 화질 평가 방법이 제안되었다^[3]. SVC의 무기준법의 객관적 화질 평가를 제안하는 논문 중에는 비디오의 Blockiness, Blur, Motion Jerkiness를 이용하여 계층적 옵션의 변화에 따른 화질 열화를 평가한 방법이 제안되었다^[4]. 그리고 SVC의 계층별 옵션에 대해서 사람들의 주관적 선호도와

우선순위를 분석한 연구가 있었다^[5]. 전체 계층성 중 서로 다른 계층 옵션 간 선호도를 비교하고, 계층 옵션의 변화에 따라서 영향이 미치는 정도를 분석함으로써 각 계층별 특성이 다름에 따라 주관적인 화질에 미치는 영향이 다르다는 것을 보여준다. 그리고 제한된 전송률에서도 선호되는 계층옵션이 다른 경우 주관적 화질에 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

본 논문에서 제안하는 화질평가 지표는 지금까지의 연구에서 주로 사용되었던 전체기준법에 의한 화질평가 방법이 아닌 무기준법에 의한 평가 방법을 제안하였으며, 또한 네트워크의 패킷 손실을 고려한 환경에서의 화질 열화를 고려하였다는 장점을 갖는다. 객관적 화질평가의 종류에는 원본 영상의 정보를 이용하는 Full-Reference (전체기준법, FR), Reduced-Reference (부분기준법, RR), No-Reference (무기준법, NR)로 나눌 수 있다. 전체기준법은 원본 영상과 수신 영상의 비교를 통한 품질 평가 방법이고, 부분기준법은 원본데이터의 일부분 또는 추가적인 원본의 정보를 이용한 평가 방법이며, 무기준법은 수신된 비트스트림 정보만을 이용한 평가 방법이다. 무기준법의 장점은 전송 측면의 오버헤드를 줄일 수 있다는 점과 실시간 측정이 가능하다는 것이다. 본 논문에서는 이러한 무기준법의 영상 품질 평가 방법을 제안하고 있다.

2.3 주관적 화질 평가

주관적 화질 평가 방법은 비디오에 대한 사람의 인지적인 화질 평가 값을 얻기 위한 방법으로 실시되었으며, 본 논문에서의 SVC 압축 동영상에 대해 주관적 화질 평가를 위해 그림 2의 ITU-T P.910의 Absolute Category Rate(ACR)^[6] 방법으로 테스트 프로그램을 제작하여 측정하였으며, 20대 남자와 여자로 이루어진 15명이 참여하였다. 주관적 화질 평가의 실험 환경과 에러에 의한 패킷 손실 패턴은 다음 표 1, 2, 3과 같이 설정하였다.

표 2의 각 계층별 옵션에서 공간적 계층 옵션은 간단한 환경에서 연구를 진행하기 위해 해상도는 CIF로 고정하여 진행하였으며, 시간적 계층과 품질적 계층 옵션의 경우 각각 30, 15, 7.5 fps (frame per second)

표 1. 주관적 화질평가 실험 환경

Video Encoder	H.264 SVC Reference Software (JSVM 9.19.7) ^[7]
Sequence Name	Crew, Silent Paris, Foreman, Football
GOP Size	15 (Hierarchical structure)
Number of Frames	240

표 2. Scalability 옵션 설정

Spatial Scalability	0: CIF(352x288)
Temporal Scalability	0: 7.5 fps
	1: 15 fps
Quality Scalability	0: 42 / 1: 37 / 2: 32 (QP)
	0: 35 / 1: 29 / 2: 23 (QP)

표 3. 에러 패턴 설정

	Temporal Layer	Quality Layer
Single Error	4th frame	Q(1) of 4th frame
	2nd frame	Q(1) of 2nd frame
	5th frame	Q(1) of 5th frame
Multiple Error	4, 12th frame	Q(1) of 4, 12th frame
	2, 10th frame	Q(1) of 2, 10th frame
	5, 13th frame	Q(1) of 5, 13th frame



영상A,i : i 조건에서의 A영상
 영상B,j : j 조건에서의 B영상
 영상C,k : k 조건에서의 C영상

그림 2. 주관적 화질 평가 (ITU-T P.910 - ACR 방법)



그림 3. 주관적 평가 실험에 사용된 영상 (Crew, Silent, Paris, Foreman, Football)

로 시간적 계층 옵션을 설정하였고, 양자화 파라미터 (QP)는 42, 37, 32, 그리고 35, 29, 23으로 나누어서 품질적 계층 옵션을 설정하였다. 실험에서 사용된 영상은 그림 3과 같이 Crew, Silent, Paris, Foreman, Football로 움직임이 많은 영상과 움직임이 적은 영상을 모두 고려하였으며, 표 3의 에러 패턴의 경우 시간적 계층과 품질적 계층에 대해 각각 에러 전파의 정도

가 많은 경우와 중간정도인 경우, 적은 경우로 나누어 설정하였다. 4th frame과 12th frame은 에러의 전파가 가장 많은 경우, 2, 10th frame은 에러의 전파가 중간 정도인 경우, 5, 13th frame은 에러의 전파가 가장 적은 경우이다.

III. 제안한 화질 평가 방법

본 화질평가를 위한 제안한 지표는 H.264 SVC를 기반으로 한 무기준법을 바탕으로 한 것이고, 계층적 예측 구조에서 frame 손실이 다양하게 고려한 것이다. 즉, 본 제안한 평가 지표의 기여도는 무기준법 기반으로 frame 손실 고려를 들 수 있겠다. 일반적으로 SVC에서 공간적, 시간적, 품질적 계층이 있지만, 본 논문에서 제안한 화질 평가 방법에서는 실험의 복잡도를 줄이기 위해 공간적 계층은 고려하지 않고 시간적, 품질적 계층을 고려하였다. 실험환경 설정에서 영상의 해상도는 CIF로 고정하였다.

3.1 시간적 계층 에러의 화질 열화

여기서는 시간적 계층 에러는 패킷 손실에 의해 영향을 받은 시간적 계층에서의 화질 열화를 말한다. 시간적 계층이 손실을 받으면 에러 전파의 범위만큼 디코딩 할 수 없게 되고, 디코딩이 가능한 이전 프레임으로부터 Frame Copy 방법을 통해 디코딩이 된다. 시간적 계층 에러의 범위는 계층적 예측 구조로 인해 에러의 위X 다르다. 다른 범위를 갖게 되고, 그 범위는 $2^{(T-i)} - 1$ 로 표현할 수 있다^[8]. 여기서 T는 전체 시간적 계층 단계의 크기를 의미하고, i는 패킷 에러가 발생한 위X의 시간적 계층 단계를 의미한다. 여기서 패킷 에러가 발생한 위X 다르다. 더 낮은 GOP 구조 내에서 k번째 프레임에서 에러가 발생한 경우 해당하는 화질 열화는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_T = d[k] \frac{2^{(T-i)} - 1}{N_{GOP}} \quad (1)$$

여기서 $d[k]$ 는 k번째 프레임에서 손실이 일어났을 때의 초기 mean square error (MSE)값이고, N_{GOP} 는 GOP 크기를 의미한다. $d[k]$ 는 무기준법에서는 정확한 값을 모르기 때문에 움직임 벡터로 움직임 정도를 구하여 초기 mean square error (MSE)를 추정하는 해당 GOP m 에 대한 평균 움직임 정도인 $MA_m^{0.38}$ 을 이

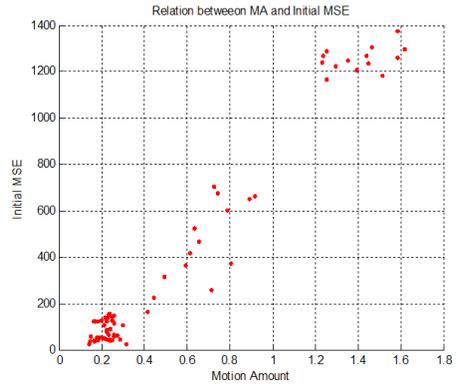


그림 4. 초기 MSE와 움직임 정도와의 관계

용하며, 이는 그림 4와 같이 실험으로부터 초기 MSE와 움직임 정도가 갖는 선형적인 관계를 이용하였다. 그리고 0.38은 기술기에 대한 값으로 [8]과 유사한 결과임을 알 수 있다. 이 계산을 통해 복호화 과정에서 알 수 있는 움직임 벡터를 이용하여 초기 MSE를 추정할 수 있다.

3.2 품질적 계층 에러의 화질 열화

품질적 계층 에러의 전파 범위는 시간적 계층 에러의 경우와 동일하게 계층적 예측 구조에 영향을 받는다. 하지만 시간적 계층에서는 에러가 나기 이전의 디코딩된 프레임으로부터 Frame Copy 되는 반면, 품질적 계층 에러의 경우에는 에러가 발생한 품질적 계층보다 한단계 낮은 품질적 계층의 양자화 파라미터 값으로 디코딩이 된다. 그림 5에서 y축의 SNR_y 는 휘도 (luminance) PSNR를 뜻한다.

H.264 SVC에서 양자화 파라미터(QP) 값이 크면 화질 열화가 많이 일어나게 된다. 그림 5에서 PSNR과 QP값은 서로 반비례하는 관계를 갖기 때문에 품질

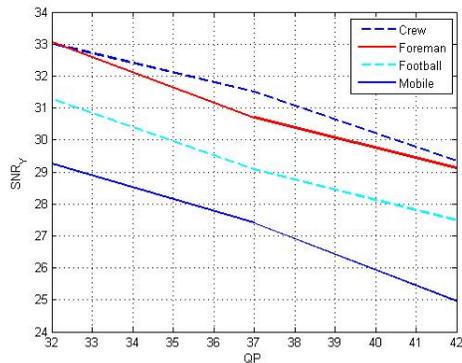


그림 5. QP와 PSNR의 관계

적 계층 에러에 의한 화질 열화는 각 프레임의 디코딩 과정에서의 QP값으로부터 구할 수 있다. 품질적 계층 에러에 영향을 받은 프레임들은 한단계 낮은 품질적 계층의 양자화 파라미터로 디코딩 되고, 화질 열화에 대한 식은 다음과 같다.

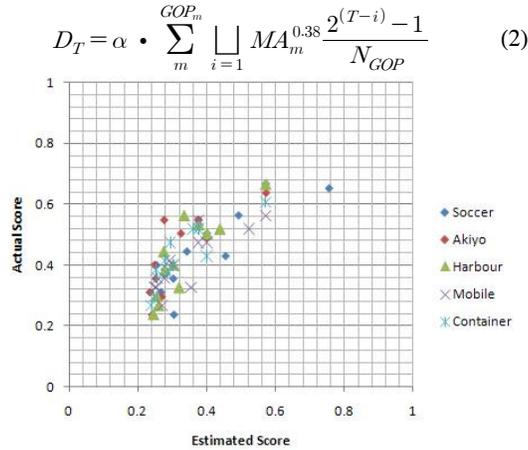


그림 7. 주관적 화질평가와 제안하는 알고리즘의 상관도

여기서 GOP_m 은 손실로부터 영향을 받은 전체 GOP의 수를 의미하고 m 은 GOP의 순서를 의미한다. 위 식을 이용하여 전체 시퀀스에서 시간적 계층에 받은 GOP의 화질 열화의 합을 나타낼 수 있다.

$$D_Q = \beta \cdot \frac{1}{nF} \sum_n^{nF} QP(n, j_n - 1) \quad (3)$$

여기서 nF 는 전체 시퀀스의 프레임의 수를 나타내고 n 은 각 프레임의 순서를 나타낸다. 그리고 j_n 은 n 번째 프레임의 패킷에러가 발생한 품질적 계층의 레벨을 나타낸다. 따라서 $(j_n - 1)$ 은 패킷 에러가 발생한 레벨보다 한 단계 아래의 품질적 계층의 레벨을 의미하고 만약 패킷 에러가 발생하지 않은 프레임이라면 이때의 양자화 파라미터는 가장 높은 레벨의 양자화 파라미터를 가리키게 된다.

그리고 SVC의 인코딩에서의 양자화 파라미터 값이 크면 화질 열화가 많이 일어나게 된다. 양자화 파라미터 값은 SNR과 반비례적인 성질을 갖는다.

3.3 제안하는 전체 DMOS 예측 영상품질 평가 식 (2), (3)을 통해 최종적으로 인지적 영상품질을

예측하는 지표, $DMOS_{est}$, 식을 다음과 같이 구하였다.

$$DMOS_{est} = \alpha \sum_m \prod_i^{GOP_m} MA_m^{0.38} \frac{(2^{(T-i)} - 1)}{N_{GOP}} + \beta \frac{1}{nF} \sum_n^{nF} QP(n, j_n - 1) + C \quad (4)$$

최종 예측 $DMOS_{est}$ 를 구하기 위해서 파라미터 α , β , offset 값 C 를 구해야 한다. 파라미터를 구하기 위해 그림 3에 있는 테스트용 영상을 모두 이용하여 3.1과 3.2절의 시간적, 품질적 계층데이터와 이와 연관된 주관적 화질 평가 데이터인 DMOS의 실험 데이터 세트들을 입력으로 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 이 회귀분석을 위해 Minitab 소프트웨어^[10]를 사용하였는데, 식 (4)의 파라미터 α, β , offset값 C 을 구하였는데 각각 0.103, 0.236, -7.23이었다.

IV. 실험 결과

제안하는 평가지표의 성능을 검증하기 위해 제안된 방법과 주관적 화질 평가 결과와의 Pearson 상관도를 구하여 성능을 비교하였다. 본 논문에서의 SVC 화질 평가 지표를 위해 그림 2의 ITU-T P.910의 Absolute Category Rate (ACR)^[6] 방법으로 테스트 프로그램을 제작하여 측정하였다. II.3절에 나와 있는 것과 마찬가지로 20대 남자와 여자로 이루어진 15명이 실험에 참여하였으며, 주관적 화질 평가의 실험 환경과 에러에 의한 패킷 손실 패턴은 표 1, 2, 3과 같다. 본 논문에서는 검증 실험에서 사용된 영상은 모델링 과정에서 사용되지 않은 그림 6의 Soccer, Akiyo, Harbour, Mobile, Container의 시퀀스들을 사용하였고, 각각의 영상들은 움직임이 많은 영상과 적은 영상들을 모두 선택하였다.



그림 6. 검증 실험에 사용된 영상 (Soccer, Akiyo, Harbour, Mobile, Container)

나머지 실험 환경과 여러 패턴들은 표 1, 2, 3과 동일한 조건에서 실시되었다. 제안하는 $DMOS_{est}$ 와 주관적 화질 평가 결과와의 상관도는 그림 6과 같다. 그리고 표 4는 각 영상들의 Pearson 상관도를 나타낸다. Pearson 상관도는 두 값이 함께 변하는 정도를 나타내는 것으로서 Pearson상관도 r 을 구하는 식은 다음과 같다.

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad (5)$$

이 식은 Pearson상관도를 구하는 식이며, 여기서 X는 식(4)를 사용한 $DMOS_{est}$ 값이고, Y는 주관적 화질 평가의 결과값이다. 그리고 \bar{X} 와 \bar{Y} 는 각각 X와 Y 값의 평균값이다. Pearson 상관도 값은 1.0에 가까운 값일수록 강한 상관관계에 있는 것을 나타낸다. 제안한 무기준법 화질평가 지표는 서로 다른 영상 형태에도 불구하고 상관도가 0.8정도와 그 이상의 평균적 상관도를 나타내고 있어 인지적 화질평가에 사용되기에 적합한 것으로 생각된다.

표 4. Pearson 상관도

Sequence	Pearson Correlation
Soccer	0.83
Akiyo	0.79
Harbour	0.85
Mobile	0.82
Container	0.85
average	0.81

V. 결 론

본 논문에서 제안한 무기준법 기반 영상품질 평가 지표의 인지적 화질 예측성능을 살펴보면 평균적인 Pearson 상관도 값이 0.81로 높게 나타남을 볼 수 있다. 이는 제안한 평가지표가 주관적이고 인지적인 영상품질 평가와의 상관성이 높아 주관적 평가를 잘 반영한 객관적 영상품질 평가 지표임을 나타낸다. 또한 SVC 비디오에 대해서 패킷 손실이 적용된 화질 열화에 대한 평가 방법인 점과, 무기준법으로 실시간으로 수신된 비디오 정보만을 이용하여 화질을 측정할 수 있다는 점이 본 논문의 주된 기여도이다.

앞서 소개한 관련연구²⁾에서는 전체기준법의 SVC 화질 평가 방법과 예러가 없는 환경에서의 평가방법을 주로 적용한 경우로 본 연구와 차별이 된다. 본 논

문의 제안하는 방법은 패킷손실이 있는 경우를 고려하여 비디오 화질 열화정도를 측정하였으며, H.264 SVC의 세 계층성 가운데 시간적, 품질적 계층에 대한 품질 열화를 고려하였다. 다음 연구에서 공간적 계층성의 해상도가 다른 경우를 반영하여 다양한 해상도의 경우에 적용할 수 있는 영상품질 평가 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 17, no. 9, Sept. 2007.
- [2] C.S. Kim, S.H. Jin, D.J. Seo, and Y.M. Ro, "Measuring Video Quality on Full Scalability of H.264/AVC Scalable Video Coding," *IEICE Trans. on Communications*, vol. E91.B, no. 5, May 2010.
- [3] H. Sohn, H. Yoo, W.D. Neve, C.S. Kim, and Y.M. Ro, "Full-Reference Video Quality Metric for Fully Scalable and Mobile SVC Content," *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 56, no. 3, Sept. 2010.
- [4] G. Zhai, J. Cai, W. Lin, X. Yang, and W. Zhang, "Three Dimensional Scalable Video Adaptation via User-End Perceptual Quality Assessment," *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 54, no. 3, Sept. 2008.
- [5] A. Eichhorn and P. Ni, "Pick your Layers wisely - A Quality Assessment of H.264 Scalable Video Coding for Mobile Devices," *Proc. IEEE International Conference on Communications*, 2009.
- [6] ITU-T Recommendation, "Subjective video quality assessment methods for multimedia applications," Tech. Rep. TUT P.910, International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, Sept. 1999.
- [7] SVC Reference Software, [Online]. Available: CVS server(host: garcon.ient.rwth-aachen.de)
- [8] H. Ha and C. Yim, "Layer-Weighted Unequal Error Protection for Scalable Video Coding Extension of H.264/AVC," *IEEE Trans. on*

Consumer Electronics, vol. 54, no. 2, May 2008.

- [9] R. Fghali, D. Wang, F. Speranza, and A. Vincent, "Quality metric for video sequences with temporal scalability," *Proc. IEEE International Conference on Image Processing*, Sep. 2005.
- [10] Minitab 15 software tutorial, <http://www.minitab.com>

김 현 태 (Hyuntae Kim)

준회원



2009년 8월 성균관대학교 전자공학과 졸업
 2011년 8월 성균관대학교 전자공학과 석사
 2011년 8월~현재 STX연구원 <관심분야> 멀티미디어 통신/네트워크

김 요 한 (Yo-Han Kim)

정회원



2001년 2월 아주대학교 전자공학부 졸업
 2003년 2월 아주대학교 전자공학과 석사
 2007년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사과정 <관심분야> 멀티미디어 통신/네트워크

신 지 태 (Jitae Shin)

정회원



1986년 2월 서울대학교 전기공학부 졸업
 1988년 2월 KAIST 원자력공학과 석사
 2001년 5월 Univ. of Southern California, Dept. of Electrical Eng. 석사 및 박사

1988년~1991년 한국전력공사 고리원자력 발전소
 1991년~1996년 한국원자력연구소 계측제어설계부
 2001년 8월~2002년 2월 경희대학교 정보통신전문대학원 교수
 2008년 8월 ~2009년 8월 Univ. of Toronto, Canada 방문교수
 2002년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수 <관심분야> 멀티미디어 통신/네트워크, 이동휴대 방송기술, 유무선 통신네트워크 시스템, 영상처리

원 석 호 (Seok Ho Won)

정회원



1990년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업
 1998년 2월 충남대학교 전자공학과 석사
 2001년 8월 충남대학교 전자공학과 박사
 2006.2 미국 Virginia Tech.

MPRG (Mobile Portable Radio Research Group) 객원교수
 1990년 3월~현재 한국전자통신연구원 (ETRI) 책임연구원
 <관심분야> 통신 신호처리, 오류정정제어, 멀티미디어 통신, 이동통신